

# Pronominal reference in sentences about persons or things investigated by temporal and spatial neuroimaging

Citation for published version (APA):

Hammer, A. (2005). *Pronominal reference in sentences about persons or things investigated by temporal and spatial neuroimaging*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20050630ah>

**Document status and date:**

Published: 01/01/2005

**DOI:**

[10.26481/dis.20050630ah](https://doi.org/10.26481/dis.20050630ah)

**Document Version:**

Publisher's PDF, also known as Version of record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Summary / Samenvatting

---

## Summary

A multi-method approach was used to explore the cognitive processes of pronoun resolution within sentences in six different experiments. German pronouns (*er*<sub>MALE/masculine</sub>, *sie*<sub>FEMALE/feminine</sub>) that refer to a person are determined by the biological gender (MALE/FEMALE) and/or syntactic gender (masculine/feminine) of the person. Pronouns (*er*<sub>masculine</sub>, *sie*<sub>feminine</sub>) that refer to a thing are determined by its arbitrary syntactic gender (Garten (garden)<sub>masculine</sub>, Tasche (hand-bag)<sub>feminine</sub>). We presented sentences in word-by-word reading paradigms with either a person or a thing as antecedent, which were followed by a congruent or incongruent pronoun. Hereby, it was of interest to investigate whether semantic and/or syntactic integration are involved in establishing coreference between a pronoun and an antecedent by means of gender information violation. In addition, we increased the distance between pronoun and antecedent to elucidate whether syntactic and/or semantic pronoun resolution would interact with verbal working memory (VWM). By using different methods, we were able to investigate the time-course (when) of investigated processes (event related potentials, ERP) and the localization (where) of respective neuronal networks (functional magnetic resonance imaging, fMRI).

The review of literature given in **Chapter 1** shows present knowledge about the involvement of syntactic and semantic information processing for establishing co-reference between a pronoun and a suitable antecedent and the influence of extra processing due to increased difficulty in sentences. Altogether, the review lead to three important ERP components, namely the N400 (semantic integration problems), the P600 (syntactic processing difficulty and reanalysis) and the left anterior negativity (LAN, working memory). Neuroimaging studies detected a complex neuronal network for language comprehension including i.e. inferior frontal regions, superior and middle temporal regions, and regions adjacent to the supramarginal/angular gyrus.

In **Chapter 2** we present ERP findings which show that violations are reflected in the P600 in pure syntactic gender violation (things) and in combination of syntactic and biological gender violation (persons) at pronoun position. This effect was larger for the person compared to the thing condition suggesting that the P600 is sensitive to the availability of semantic gender information of the antecedent (here, whether or not it has biological gender). Furthermore, the observed N400 for the word following the pronoun in case of thing but not

person antecedent types indicated that this effect reflects continuous integration processes for things, whereas for persons the integration seems to be finished at pronoun position.

Surprisingly, contrary to the clear results of the first experiment, simultaneously recorded magnetoencephalographic data failed to reveal reliable differences between incongruent and congruent pronouns referring back to person or thing antecedents as reported in **Chapter 3**. This result is discussed as demonstrating different outcomes for ERP and event related fields (ERF) data due to different characteristics of the two methods, i.e. measuring tangential vs. radial sources or widely distributed sources for higher cognitive processes. When higher processing stages, such as language processing are the interest of investigation, the corresponding sources may be widely distributed and currents flowing simultaneously in opposing walls of a sulcus may partially cancel each other out. In that case, ERP might prove to be the more valuable source of information.

To localize the underlying neuronal networks of biological and syntactic gender integration during pronoun processing, we performed an event-related fMRI study, described in **Chapter 4**. Overall, syntactic processing activated left hemispheric areas adjacent to Broca's area and superior temporal sulcus (STs), whereas processing of the biological gender information, in addition, involved a bilateral network including inferior frontal gyrus (GFi) and the supramarginal gyrus (Gsm). A comparison with ERPs elicited with identical material (experiment 1 in chapter 2) suggested that the information is integrated 400-700 ms after target onset, visible in both cases as a P600 with different effect sizes. The results illuminate temporal and spatial integration of syntactic and semantic processing during the establishment of co-reference between a pronoun and its referring noun. Pronouns referring back to persons can be matched to the antecedent by biological and syntactic information, requesting more processing capacity indicated by the large P600 and the activation of a bilateral cortical network, including GFi and Gsm/Ga. In contrast, pronouns referring back to things are solely matched by pure syntactic gender information reflected in a smaller P600 indicating less processing activity and an activation of the left GFi and STs.

Integrating a pronoun into a sentence context requires VWM resources because the earlier mentioned antecedent has to be re-activated to link the pronoun to the antecedent. In the experiment described in **Chapter 5** we manipulated this process by increasing the distance (long distance conditions, LD) across person and thing sentences and compared these to the

sentences of the former experiments (short distance conditions, SD) within an ERP experiment. In general, this VWM manipulation effected the N400/P600 patterns of our sentence types, indicating that VWM interacts with semantic and syntactic processing. Furthermore, our data suggest that sentence parsing does not only depend on semantic or syntactic information but it is rather a highly flexible process. The respective N400/P600 patterns suggested that the comprehension system switches preference between semantic and syntactic information access during pronoun processing depending on demands on VWM resources and information availability. In addition, we found an N400 on the word following the pronoun for SD and LD thing sentences, indicating an ongoing integration process after pronoun position, independent of distance manipulation.

The aim of the fMRI study reported in **Chapter 6** was to localize processing of syntactic and semantic gender information and possible interaction with VWM during the process of building up co-reference between a pronoun and its antecedent, using the material as described in chapter five. As a main result, we found that left inferior frontal regions are the core regions for building up co-reference between pronoun and antecedent, with a slight local differentiation dependent on antecedent type. In addition, we suggest that left superior frontal regions may be described as a general monitoring processor for clear gender violations within relatively easy SD sentences, as we found deactivation for incongruent compared to congruent pronouns within these regions, but not for LD sentences. Instead, we observed additional activation within temporal and temporo-parietal regions if the comprehension system can only rely on syntactic gender information to link the pronoun to a distant antecedent (LD thing). The search for an alternative antecedent was indexed by activation of brain regions usually referenced to semantic information processing, viz. the Gsm. Furthermore, we demonstrated sensitivity to the distance manipulation, depending on availability of gender information within congruent sentences, which was reflected in a temporal activation for LD compared to SD person sentences, whereas for the thing case no temporal activation was found. For incongruent sentences we found an anterior temporal activation for Person antecedents and a more posterior temporal activation for thing antecedents. We suggest that these areas get active due to a search for an appropriate antecedent, depending on information availability in case of violations, but also in case of longer temporal distance (LD) between antecedents and pronouns.

## Samenvatting

In zes verschillende experimenten werd een multi-methodebenadering gebruikt om de cognitieve verwerkingsprocessen van pronomen binnen zinnen te onderzoeken. Duitse pronomen die naar een persoon verwijzen ( $er_{\text{MAN/mannelijk}}$ ,  $sie_{\text{VROUW/vrouwelijk}}$ ) worden bepaald door het biologische geslacht (MAN/VROUW) en/of het syntactische geslacht van de persoon (mannelijk/vrouwelijk). Pronomen die naar een ding verwijzen ( $er_{\text{mannelijk}}$ ,  $sie_{\text{vrouwelijk}}$ ) worden bepaald door hun willekeurig syntactische geslacht ( $\text{Garten (tuin)}_{\text{mannelijk}}$ ,  $\text{Tasche (handtas)}_{\text{vrouwelijk}}$ ). In woord-voor-woord lees paradigma's boden wij zinnen aan met een persoon of een ding als antecedent die door een congruent of incongruent pronoom werden gevolgd. Hierbij was het van belang te onderzoeken of de semantische en/of syntactische integratie betrokken is bij het maken van een coreferentie tussen een pronoom en zijn antecedent door middel van een schending van de geslachtsinformatie. Bovendien verhoogden wij de afstand tussen het pronoom en het antecedent om te onderzoeken of de syntactische en/of semantische verwerking van pronomen met het verbaal werkgeheugen (verbal working memory, VWM) in wisselwerking zou staan. Door verschillende methodes te gebruiken, konden wij het tijdsverloop (wanneer) van onderzochte processen (event related potentials, ERP) en de lokalisatie (waar) van respectieve neuronale netwerk (functioneel magnetische resonantie imaging, fMRI) onderzoeken.

Het literatuur overzicht dat in **Hoofdstuk 1** wordt gegeven toont de huidige kennis over de betrokkenheid van syntactische en semantische informatieverwerking bij het vestigen van een coreferentie tussen een pronoom en een geschikt antecedent. Tevens werd genoemd dat de invloed van extra verwerking toe te schrijven is aan de verhoogde moeilijkheid in zinnen. Alles bij elkaar leidt het overzicht tot drie belangrijke ERP componenten, namelijk de N400 (semantische integratieproblemen), de P600 (her-analyse en moeilijkheidsgraad van syntactische verwerking) en de 'left anterior negativity' (LAN, het werkgeheugen). Neuroimaging onderzoeken ontdekten een complex neuronale netwerk voor taalbegrip met inbegrip van o.a. inferieure frontale gebieden, superieure en mediale temporale gebieden, en gebieden naast de supramarginale/angularaire gyrus.

In **Hoofdstuk 2** tonen wij ERP bevindingen, welke aantoonen dat de schendingen bij zuivere syntactische geslachtsschending (dingen) en bij de combinatie van syntactische en biologische geslachtsschending (personen) op de positie van het pronoom in een P600 worden

weerspiegeld. Dit effect was groter voor de persoon-conditie dan voor de ding-conditie, wat suggereert dat de P600 gevoelig is voor de beschikbaarheid van semantische geslachtsinformatie van het antecedent (hier, het al dan niet hebben van een biologisch geslacht). Verder wees de waargenomen N400 voor het woord direct na het pronoom, in het geval van ding maar niet persoon antecedent types, erop dat dit effect continue integratieprocessen voor ding-conditions weerspiegelt, terwijl voor persoon-conditions de integratie bij de positie van het pronoom lijkt te zijn beëindigd.

In **Hoofdstuk 3** wordt gerapporteerd dat, in tegenstelling tot de duidelijke resultaten van het eerste experiment, gelijktijdig geregistreerde MEG (magnetoencephalographic) gegevens, verrassend genoeg geen betrouwbare verschillen lieten zien tussen congruente en incongruente pronomen die naar persoon- of ding-antecedenten terugverwijzen. Dit resultaat wordt verklaard door de verschillende resultaten voor ERP en event related fields (ERF) gegevens, toe te schrijven aan de verschillende kenmerken van de twee methodes (o.a. het meten van divergerende versus radiale bronnen of de ruimtelijke verspreiding van de bronnen voor hogere cognitieve processen). Wanneer de hogere verwerkingsstadia de kern van het onderzoek zijn, zoals bij taalverwerking het geval is, dan kunnen de relevante bronnen ruimtelijk verspreid zijn en kunnen stromen elkaar gedeeltelijk compenseren wanneer die gelijktijdig optreden op tegenover liggende kanten van een sulcus. In dat geval zou kunnen blijken dat ERP de waardevollere bron van informatie is.

Om de onderliggende neuronale netwerken van biologische en syntactische geslachtsintegratie tijdens pronomen verwerking te lokaliseren, voerden wij een event related fMRI experiment uit, dat in **Hoofdstuk 4** wordt beschreven. In het algemeen activeert syntactische verwerking gebieden in de linker hemisfeer die naast het gebied van Broca liggen en de superieure temporale sulcus (STs), terwijl de verwerking van de biologische geslachtsinformatie tevens een bilateraal netwerk met inbegrip van inferieure frontale gyrus (GFi) en supramarginale gyrus (Gsm) omvatte. Een vergelijking met ERPs waarbij identiek materiaal werd gebruikt (experiment 1 in hoofdstuk 2), toonde aan dat de informatie 400-700 ms na aanvang van de stimulus geïntegreerd wordt, in beide gevallen duidelijk waarneembaar als een P600 met verschillende effect grootte. De resultaten belichten temporele en ruimtelijke integratie van syntactische en semantische verwerking tijdens de totstandbrenging van coreferentie tussen een pronoom en zijn verwijzend zelfstandig naamwoord. Voor pronomen die terugverwijzen naar personen kan het passende antecedent door middel van biologische en

syntactische informatie gevonden worden. Waarbij meer verwerkingscapaciteit nodig is, wat zichtbaar is in een grote P600 en de activering van een bilateraal corticaal netwerk, met inbegrip van GFi en Gsm/GA. Het passende antecedent voor pronomen die naar dingen terugverwijzen kan daarentegen alleen door de zuivere syntactische geslachtsinformatie gevonden worden. Dit is zichtbaar in een kleine P600 en wijst op minder verwerkingsactiviteit en een activering van linker GFi en STs.

Het integreren van een pronoom in een zinscontext vereist het inzetten van het VWM, omdat het eerder vermelde antecedent moet worden gereactiveerd om het pronoom met het antecedent te verbinden. In het experiment beschreven in **Hoofdstuk 5** manipuleerden wij dit proces door de afstand bij persoon-zinnen en ding-zinnen te verhogen (long distance conditions, LD) en we vergeleken deze met de zinnen van de voorgaande experimenten (short distance conditions, SD) binnen één ERP experiment. In het algemeen beïnvloedde deze manipulatie van het VWM, de N400/P600 patronen van onze zinstypes waaruit blijkt dat het VWM betrokken is bij semantische en syntactische verwerking. Tevens wijzen onze gegevens er op dat de zinsontleding niet alleen van semantische of syntactische informatie afhangt, maar dat het eerder een hoogst flexibel proces is. De eerder vermelde N400/P600 patronen wijzen er op dat het begripssysteem tijdens de verwerking van pronomen, schakelt tussen voorkeur voor semantische en syntactische informatie, afhankelijk van belasting van het VWM en beschikbaarheid van informatie. Bovendien vonden wij een N400 op het woord na het pronoom voor SD en LD ding-zinnen, wat wijst op een integratieproces dat doorgaat na de positie van het pronoom, onafhankelijk van de afstandsmanipulatie.

Het doel van de fMRI studie die in **Hoofdstuk 6** wordt vermeld, was het lokaliseren van de verwerking van syntactische en semantische geslachtsinformatie en de mogelijke interactie met het VWM tijdens het proces dat coreferentie tussen een pronoom en zijn antecedent opbouwt. Bij dat onderzoek werd gebruik gemaakt van het materiaal dat in hoofdstuk vijf wordt beschreven. Als hoofdfresultaat vonden wij dat de linker inferieure frontale gebieden het kerngebied zijn voor het opbouwen van een coreferentie tussen pronoom en antecedent met een lichte lokale differentiatie afhankelijk van antecedent type. Bovendien stellen wij dat de linker superieure frontale gebieden beschouwd kunnen worden als een algemene controlerende verwerkingseenheid voor duidelijke geslachtsschendingen binnen relatief gemakkelijke SD zinnen, aangezien wij binnen deze gebieden een deactivering voor incongruente pronomen vonden in vergelijking met congruente pronomen, maar dit niet



vonden voor de LD zinnen. In plaats daarvan zagen wij extra activering binnen temporale en temporoparietale gebieden, als het begripssysteem zich slechts op syntactische geslachtsinformatie kan baseren om het pronoom met een ver antecedent (het LD ding) te verbinden. Het zoeken naar alternatieve antecedenten werd geïndiceerd door een activering van hersengebieden die gewoonlijk aan semantische informatieverwerking van verwijzingen worden toegeschreven, namelijk Gsm. Bovendien toonden wij aan dat de gevoeligheid van de afstandsmanipulatie afhankelijk is van de beschikbaarheid van geslachtsinformatie binnen overeenstemmende zinnen, wat in een activering van temporele gebieden voor LD in vergelijking met de zinnen van de persoon van SD werd weerspiegeld, terwijl in het geval van een ding geen activering van temporele gebieden werd gevonden. Voor incongruente zinnen vonden wij voorafgaand aan de activering van temporele gebieden, voor de antecedenten van de persoon en een meer latere activering van temporele gebieden voor de antecedenten van het ding. Wij stellen dat deze gebieden geactiveerd worden vanwege het zoeken naar het passende antecedent, afhankelijk van informatiebeschikbaarheid in het geval van schendingen, maar ook in het geval van een langere temporele afstand (LD) tussen antecedenten en pronomen.